Aus der Hals- Nasen- Ohrenklinik der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. med. Gerhard Theissing

Tierexperimentelle Untersuchungen des Readaptationsverhaltens des Hörorgans

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von

Gerhard Fraas
aus Helmbrechts

1966

1967

1967 № 120

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535706_0042

Aus der Hals- Nasen- Ohrenklinik der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. med. Gerhard Theissing

Tierexperimentelle Untersuchungen des Readaptationsverhaltens des Hörorgans

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von

Gerhard Fraas
aus Helmbrechts

1966

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. G. Ober
Referent: Prof. Dr. G. Theissing
Tag der mündlichen Prüfung: 4. 2. 1967.

Für die Überlassung des Themas und für die großzügige Überlassung der Einrichtungen des Elektrophysiologischen Labors der Hals-Nasen-Ohrenklinik möchte ich Herrn Prof. Dr. G. Theissing an dieser Stelle meinen herzlichen Dank aussprechen.

Herrn Dr. J. Theissing danke ich für seine Unterstützung beim Aufbau der Versuchsanordnungen sowie für seine Hilfe bei der Ausarbeitung der gewonnenen Versuchsergebnisse.

Inhaltsverzeichnis

Seite

A. Literaturübersicht und Problemstellung 1

I. Adaptation 1
a) Untersuchungsmethoden der Langzeitadaptation ... 2
b) Untersuchungsmethoden der Kurzzeitadaptation ... 3
c) Physiologie zur Langzeitadaptation 4
d) Physiologie zur Kurzzeitadaptation 6

II. Readaptation 7

B. Methodik 12

I. Operative Technik 12
II. Versuchsanordnung 12
III. Versuchsdurchführung 13
IV. Auswertung 14

C. Ergebnisse 15

D. Diskussion 17

E. Zusammenfassung 25

F. Literaturverzeichnis 26

G. Abbildungen 29

H. Mittelwertstabellen 35

A. Literaturübersicht

Obwohl schon länger überschwellige Hörprüfmethoden wie Fowlertest, Lüschertest, Geräuschaudiometrie, Feldmanntest und andere Verfahren zur Feststellung einer pathologischen Adaptation in der klinisch audiometrischen Routine zur Differentialdiagnostik der labyrinthären und ganglionären Schwerhörigkeit eingesetzt werden, ist ihre Verläßlichkeit, insbesondere aber auch ihre Wertigkeit untereinander bei divergierenden Aussagen der Teste noch umstritten. Die Ursache hierfür dürfte in der teilweise noch nicht abgeklärten bzw. abgesicherten Theorie der überschwelligen Innenohraudiometrie zu suchen sein, wobei insbesondere der Adaptation und der pathologischen Adaptation eine wichtige Bedeutung zugemessen werden muß, zumal sie einmal den Test beeinflußt, zum anderen selbst überschwellige Testmethode ist. Ersteres zeigt sich z. B. gut bei der Menièreschen Krankheit, die eine gestörte Adaptation aufweist. Hier führen im Fowlertest kurze Tonstöße zum positiven Recruitment, im Dauertonverfahren schwindet dagegen der Lautheitsausgleich wieder.

I. Adaptation

Der Feststellung der Adaptationsverhältnisse am kranken Gehör wird demnach zur Diagnostik weites Interesse entgegengebracht. Deshalb nimmt es nicht Wunder, daß in der wissenschaftlichen Literatur der letzten zwei Jahrzehnte immer wieder neue Verfahren zur klinischen Bestimmung der Adaptation veröffentlicht wurden. (H o o d , F e l d m a n n , L a n g e n b e c k , V o s t e e n). Diese oft parallel verlaufende Entwicklung hat naturgemäß durch Synonyma gewisse Schwierigkeiten der Begriffsbestimmung herbeigeführt, so daß es angebracht erscheint, bestimmte, heute fest umrissene Adaptationsbegriffe zu erläutern.

Wir unterscheiden eine Kurzzeitadaptation, welche dem on-effekt entspricht und sich in Bruchteilen einer Sekunde vollzieht von einer Langzeitadaptation, welche dem on-effekt folgt, jedoch sich durch einen, bezogen auf die Toneinwirkungszeit, viel kleineren Hörverlust bemerkbar macht und nach ca. drei Minuten (H o o d) einen konstanten Wert erreicht, von dem die Hörschwelle nach Absetzen des Belastungstones schnell wieder auf den Anfangswert

zurückkehrt. Die Hörermüdung letzten Endes ist gekennzeichnet durch ein Fortbestehen der Schwellenerhöhung nach Absetzen des Reizes.

Diese verschiedenen Komponenten sind nun natürlich nicht nur in ihrer Gesamtheit, der Adaptation schlechthin, sondern vor allem zur genaueren Kenntnis der Pathologie, in ihren Einzelheiten interessant, da anzunehmen ist, daß pathologische Veränderungen sich durchaus nicht uniform an allen Teilen gleich bemerkbar machen. Klinische Tests beurteilen im Gegensatz zum Tierexperiment im allgemeinen mit einer Anordnung nur eine Teilkomponente oder aber die Gesamtheit der Veränderungen.

a) Untersuchungsmethoden der Langzeitadaptation

Bei der Untersuchung der Langzeitadaptation konkurrieren monaurale und binaurale Meßmethoden miteinander. Bei den binauralen Arten, wie sie vor allem von H o o d in seinen psychoakustischen Untersuchungen der per- und poststimulatorischen Adaptation angewandt wurden, wird das Versuchsohr einem Belastungston konstanter Intensität und Frequenz ausgesetzt, während auf das Kontrollohr in Zeitabständen kurzfristig ein gleichhoher Ton gegeben wird, der von der V. P. in seiner Lautheit dem Belastungston jeweils angeglichen wird. Die Differenz von Belastungs- und Kontrolltonstärke ergibt den Adaptationsgrad zur jeweiligen Kontrollzeit.

Da diese binaurale Methode nach Ansicht vieler Autoren wohl für die Forschung, wegen ihrer hohen Anforderung an die Intelligenz der V. P. jedoch nicht für eine routinemäßige Verwendung in der audiologischen Praxis geeignet ist und das Kontrollohr immer ein normales Adaptationsverhalten und eine normale Schwellempfindlichkeit aufweisen muß, suchte man nach einfacheren Methoden. F e l d m a n n gab 1957 ein monaurales Verfahren bekannt. Dabei wird dem Versuchsohr als Dauerreiz ein an Intensität und Höhe konstanter Ton angeboten. In Zeitabständen von beliebiger Größe wird bei unverändert fortklingendem Ton diejenige Geräuschstärke bestimmt, über die der Dauerton gerade noch als Klarton zu hören ist. In diesem Falle entspricht die Differenz zwischen Belastungs- und Geräuschintensität dem Adaptationsgrad zum jeweiligen Zeitpunkt der Messung.

Beide, binaurale wie monaurale Methode, zeigen bei Innenohrkranken die gleichen charakteristischen Veränderungen bei den verschiedenen Hörstörungen. So sieht man sowohl bei M. Meniere wie auch bei akustischem Trauma eine Hörschwellenabwanderung schon bei mittelmäßigen Intensitäten, die selbst Minuten nach Abschalten des Belastungstones keine Erholungstendenz zeigt.

b) Untersuchungsmethoden der Kurzzeitadaptation

Lange Zeit konnte man im psychoakustischen Experiment nur vage Aussagen über die Kurzzeitadaptation treffen, da diese sich in äußerst kurzer Zeit vollzieht und bei den herkömmlichen Apparaturen zur Adaptationsmessung bereits das Einregulieren des Kontrolltones bzw. -geräusches bis zu 15 sek. in Anspruch nimmt. (H o o d). Durch den Bau von elektronisch gesteuerten Kurzzeitschaltern ist es nun möglich, sehr viele Meßpunkte in den allerersten Phasen der Adaptation zu registrieren. Im Prinzip beruhen diese Geräte darauf, daß einem periodisch unterbrochenen Geräusch ein Dauerton überlagert wird, welchen man in den Geräuschpausen hört. Für die Messung der Kurzzeitadaptation kann man die Geräuschlänge variieren, während man, um eine geringe Fehlerbreite zu erhalten, die Geräuschpausen extrem klein, in den in der Literatur beschriebenen Fällen 0,01 sec. lang, wählt. Praktisch geht man dabei so vor, daß man bei konstant eingestellter Geräusch- und Pausenlänge die Intensität des Überlagerungstones aus dem Unhörbaren so weit heraufreguliert, bis er soeben in den Geräuschpausen gehört wird. Das gleiche führt man bei immer länger währenden Geräuschlängen durch. Der große Vorteil dieser Methode beruht darauf, daß man damit unendlich viele Meßpunkte im Zeitverlauf der Adaptation erhält.

Über die ersten Versuchsergebnisse mit diesem Verfahren berichteten L a n g e n b e c k und V o s t e e n. Das klinisch Interessante an diesen Beobachtungen ist, daß sowohl pathologische wie normale Abwanderung der Hörschwelle innerhalb dieser kürzesten Geräuscheinwirkungszeiten unabhängig vom Hörverlust bestehen können, ja, daß pathologische Ermüdbarkeit innerhalb dieses kurzen Zeitraumes bei praktisch normaler Hörschwelle vorhanden sein kann. Ähnlich wie im Tierexperiment durch Aktionspotentialableitung vom n. acusticus kann man auch hier eine schnell verlaufende Adaptation

die nach ca. 0,15 sec. auf ihren Sättigungswert anlangt, von einer langsamer einsetzenden Langzeitadaptation unterscheiden, die in Fällen von akustischem Trauma bei normaler Adaptation eine pathologische Ermüdbarkeit zeigen kann.

Obwohl das Adaptationsverhalten des Gehörs in der Klinik wertvolle Hinweise auf den Sitz und die Genese von Innenohrerkrankungen gibt, kann es sich andrerseits bei manchen audiometrischen Verfahren als Störfaktor erweisen. Als Beispiel sei hier die Geräuschaudiometrie genannt. Sie wird in der Klinik zur Unterscheidung eines Haarzellschadens von einer Degeneration des Spiralganglions angewandt. Es kann nun, besonders bei Unachtsamkeit des Patienten passieren, daß der Arzt den Prüfton zu weit über die Geräuschschwelle reguliert, so daß dann bei den hohen Intensitäten eine Adaptation, ja sogar pathologische Adaptation eintritt, umso eher, wenn sich bei den Patienten im Adaptationstest Schwellenabwanderung zeigt. Ebenso, wenn auch nicht in dem Maße, werden die benachbarten Frequenzen von diesen Erscheinungen betroffen. Es ist daher eine Notwendigkeit, die Gesetzmäßigkeiten der Adaptation und pathologischen Adaptation zu kennen. Der folgende Abschnitt befaßt sich deshalb insbesonders mit der Physiologie der Adaptation.

c) Physiologie der Langzeitadaptation

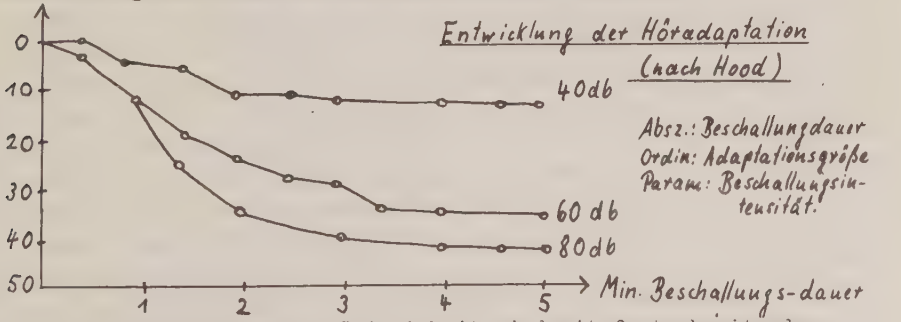
H o o d bezeichnet die Langzeitadaptation als einen Vorgang des Gleichgewichthaltens zwischen der der Haarzelle zur Verfügung stehenden Energie in Form von energiereichen Metaboliten und der nervösen Energie, welche auf Grund des Sinnesepithelreizes abgegeben wird.

Der menschliche Hörapparat, bestehend aus dem peripheren Sinnesorgan und den zentralen Hörbahnen und Hörzentren, adaptiert, wie bislang bekannt ist, an zwei Stellen auf die ans Hörorgan gelangte und dort weiterverarbeitete Information. Einmal unterwirft das periphere Sinnesorgan die Information einer Adaptation, zum andern wird die von dort weitergegebene, jetzt codierte Information einer zentralen, von der peripheren Adaptation unabhängigen Adaptaton unterzogen. (R a n k e). Allerdings findet man, besonders in der anglo-amerikanischen Literatur Hinweise für eine Entstehung der peripheren Adaptation im Hörnerven. Für die Rankesche Theorie sprechen vor al-

le Untersuchungen v. B e k e s y s , der bei Reintonbelastung auch eine Adaptation der dem Belastungston benachbarten Frequenzen nachweisen konnte. In die gleiche Richtung deuten Experimente und Überlegungen von W e g e l , R a n k e , L a u e u. a.

R a n k e nimmt als Ursache der peripheren Adaptation die Bildung eines Erregungsstoffes in der Haarzelle an, dem nach kurzer Zeit ein Rückbildungsstoffwechsel folgt. Die anfänglich überschießende Bildung des Erregungsstoffes findet im Tierexperiment wie im psychoakustischen Versuch ihren Niederschlag. Bei jenem beobachtet man bei der NAP-Ableitung der Nerveneinzelfaser eine anfängliche Häufung der Einzelpotentiale, welche rasch abebbt und sich auf einen steady state einstellt. Im Summenaktionspotential entspricht das einer anfangs bestehenden Amplitudenüberhöhung.

Im neurophysiologischen Experiment zeigte H o o d mit der binauralen Adaptationsprüfmethode der Langzeitadaptation wie sie oben bereits geschildert wurde im Unterschied zu C h a r t e r e t t e, welcher mit ähnlicher Versuchsmethode, jedoch unter Geräuschbelastung das Adaptationsverhalten prüfte, daß immer nach gleicher Zeit - und zwar nach ca. 3,5 Minuten - eine Sättigung der Adaptation bei allen Reizintensitäten auf dem Versuchsohr auftrat. Dabei vollzog sich der Großteil der Adaptation kurz nach Einschalten des Belastungstones, was im Diagramm einem steilen Kurvenverlauf entspricht.



Der Adaptationsbetrag pro Zeiteinheit wird mit fortschreitender Reizeinwirkungszeit immer kleiner um ungefähr nach 3,5 Minuten Versuchsdauer gegen null zu streben. Ein Vergleich mit der Hüllkurve der SNAP, abgeleitet vom Hörnerven der Katze zeigt, daß die Zeitab-

läufe von beiden Seiten übereinstimmen und so den Eindruck vermitteln, daß beide Manifestationen des gleichen Phänomens sind. (H o o d).

Dieses Ergebnis läßt sich wohl mit denen von G a l a m b o s und D a v i s vereinbaren, die an einzelnen Nervenfaserpräparaten des Hörnerven eine Unabhängigkeit der Adaptation im einzelnen Rezeptor von der Reizstärke objektivieren konnten. Die Größe des Db-Verlustes als Folge der Adaptation, welche mit der Reizintensität ansteigt und bei den H o o d schen Versuchen 40 Db ausmachte, findet ebenfalls im Tierexperiment seine Parallele und läßt sich den Ergebnissen von D a v i s und G a l a m b o s zuordnen, die an isolierten Nervenfaserpräparaten demonstrieren konnten, daß eine Reizintensitätssteigerung nicht nur zu einer Steigerung der Anzahl der AP der Nervenfaser führt, sondern daß immer mehr Nervenfasern in Tätigkeit gesetzt werden. Damit ist klar, daß die Rezeptorenzahl, die durch den 80 Db-Reiz angeregt werden, rein zahlenmäßig größer ist als die bei 60 oder gar 40 Db. Allein schon bei prozentmäßig gleicher Adaptation der AP der Einzelfaser würde demnach der Absolutbetrag der Adaptation bei wachsender Nervenfaserzuschaltung infolge erhöhter Reizintensität steigen.

d) Physiologie der Kurzzeitadaptation

Obwohl die Einführung der elektronisch gesteuerten Kurzzeitschalter einen großen Fortschritt in der Feinzeitmessung der Innenohrleistung bedeutet, kann sie dennoch die Berechtigung des elektrophysiologischen Tierexperimentes nicht gefährden, da dieses vor allem gestattet, die beiden Vorgänge der peripheren und zentralen Adaptation getrennt zu untersuchen. Mit Hilfe der Ableitung, vor allem der SNAP mit Makroelektroden, gelang es, eine Abhängigkeit der Höhe der Kurzzeitadaptation von der Intensität des Belastungstones zu demonstrieren. Ferner ergaben Versuche eine Korrelation der Spannungshöhe des steady states und der des initial overshoot, in der Weise, daß der Quotient i.o./ss mit zunehmender Reiztonintensität größer wird. Schließlich offenbarten Tierexperimente, daß bei Reizung mit Clicks die Adaptationszeit von der Elektrodenlage, der Narkosetiefe, Adaptationszeit und -größe von der Reizfolgefrequwnz der Rechteckimpulse abhängig ist.

Potentialableitungen mittels Makroelektroden vom Hörnerven brachten Parallelen zu den Ergebnissen, welche bereits früher an zugänglicheren Sinneszellen anderer Organe gewonnen wurden, wie z. B. an Dehnungsrezeptoren der quergestreiften Muskulator. (B r o n k , M a t t e w s). Seinerzeit konstatierte man bereits die flüchtige Natur der Kurzzeitadaptation. Besonders anschaulich sind die Beziehungen der kurzzeitadaptierten SNAP-Höhen zueinander in Abhängigkeit von der aufs Versuchsohr einwirkenden Lautstärke und Klickfrequenz im sogenannten Adaptationsfächer. (K e i d e l).

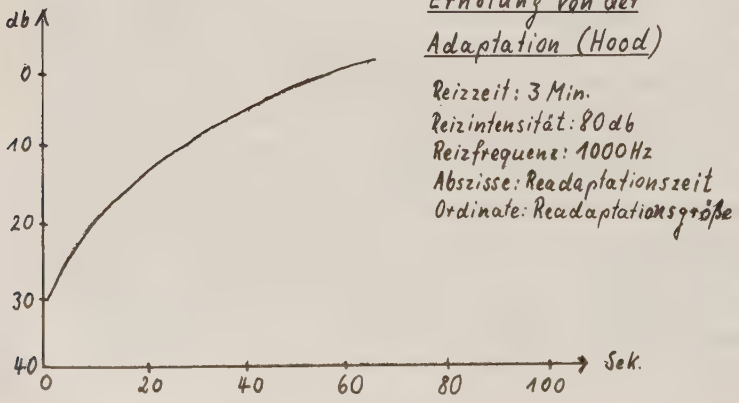
Ableitungen von der präparierten Hörnerveneinzelfaser mittels Mikroelektroden analysierten das Zustandekommen der Amplitudenüberhöhung in der Hüllkurve der SNAP als ein additives Zusammenwirken einer anfänglichen Frequenzerhöhung der Fasereinzelpotentiale. Die Spannungshöhe der Einzelpotentiale gehorcht dabei dem Alles-oder-Nichts-Gesetz.

II Readaptation

In allen Zellen des tierischen Organismus folgt einer Zeit der Beanspruchung eine restitutive Phase oder, was viel häufiger der Fall ist, gehen Beanspruchung und Erholung zeitlich parallel. Die Erholungs- oder Readaptationszeit bei den Sinneszellen ist die Zeit, welche bei vollkommener Reizfreiheit vergeht, bis die Zelle diejenige Ansprechbarkeit wiedererlangt hat, die sie vor Einwirken eines Reizes bereits besaß. In dieser Zeit kehrt der durch die Belastung dezimierte Bestand an energieliefernden Metaboliten in der Sinneszelle auf seine normale Höhe zurück. Das bedeutet hinsichtlich der spezifischen Leistung der Sinneszelle, daß diese wieder ihre normale Empfindlichkeit gegenüber dem adäquaten Reiz erhält. Für die Haarzellen des Innenohres besagt das, daß je nach Lage auf der Basalmembran, bei Intensitäten, wie sie in der Hörschwellenkurve festgelegt sind, die Sinneszellen wieder erregbar sind. Wenn man von Versuchsbedingungen absieht, ist aber eine vollkommene Erholung der Haarzellen ausgeschlossen, da die verschiedensten Geräusche des täglichen Lebnes bereits eine Adaptation der Sinnesepithelzellen bewirken. Man schätzt den Adaptationsgrad durch den Lärm des normalen Alltagsmilieus auf IO - I5 Db. (L ü s c h e r und Z w i s l o c k i).

Wie oben beschrieben, fand sich klinisch (L a n g e n b e c k) immer wieder eine vermehrte Schwellenabwanderung nach Belastung mit oft nur mittelstarken Tönen bei Patienten mit akustischem Trauma. Dabei wurde gleichzeitig auch ein verzögertes Einsetzen der Erholung beobachtet. Es war daher naheliegend, an eine Störung der restituiven Vorgänge in der Zelle zu denken und die Gesetzmäßigkeiten dieser Erholung zu erforschen und damit Einblick in die ihr zugrunde liegenden Mechanismen zu bekommen.

Für die Messung des zeitlichen Erholungsablaufes wurde im psychoakustischen Versuch meist die gleiche Apparatur wie zur Messung der Adaptation verwandt. Dabei gelang zwar nach langdauernden Reizen mit hohen Intensitäten eine Messung der Readaptationszeit und eine ungefähre Darstellung des Readaptationszeitverlaufes, auf eine detaillierte Darstellung, insbesondere nach kürzeren und in der Intensität physiologischeren Reizen mußte allerdings verzichtet werden, da ähnlich der Kurzzeitadaptation sich die Readaptation in kürzester Zeit vollzieht und daher mit den herkömmlichen Geräten nicht genau erfaßt werden konnte. H o o d erhielt mit ihnen eine Darstellung des Verlaufes der Erholung von der Langzeitadaptation, eine Sättigungskurve, dergemäß sich der größte Teil der Adaptationsgröße in kürzester Zeit zurückbildet, während der verbleibende Rest eine ungleich längere Zeit zur Rückbildung braucht.

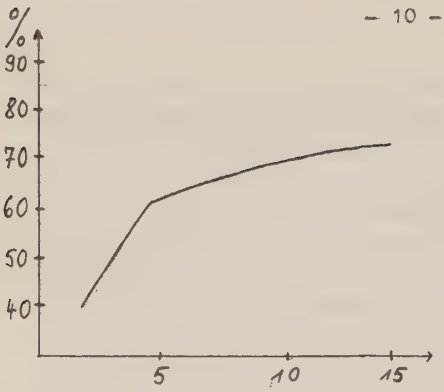


Dieser Readaptationszeitgang zeigt die gleiche schnelle und langsame Komponente wie nach Reizung mit kürzesten Tonstößen, bloß daß er sich hier in verkleinertem Zeitmaßstab, also schneller, vollzieht.

Die Untersuchung der Readaptation nach geringen Belastungen ist im psycho-akustischen Verfahren eine Domäne der Geräte mit elektrischen Feinzeitschaltern, wie sie bereits unter dem Kapitel Kurzzeitadaptation beschrieben werden. Im Gegensatz dazu muß hier jedoch die Geräuschzeit konstant gehalten werden. Man führt dann eine Meßreihe durch, indem man die Geräuschpausen länger und länger wählt. Die Geräuschpausenlänge, an deren Ende der Ton soeben hörbar wird, ist die Readaptationszeit, welche vergangen ist, damit die eingestellte Tonintensität wieder gehört werden kann. Diese entspricht der Hörschwelle zum jeweiligen Zeitpunkt, welcher wiederum der eingestellten Geräuschpause gleichkommt. Je leiser also die Tonintensität eingestellt wird, umso länger wird die Geräuschpause zu wählen sein.

Mit dieser Methode fanden L a n g e n b e c k und V o s t e e n, daß sich die Readaptation nach kurzen Geräuschstößen (0,2 sec.) in extrem kurzer Zeit vollzieht (bis 0,4 sec.) und wie nach den großen Belastungen im H o o dschen Versuch gemäß einer Exponentialfunktion verhält.

Das elektrophysiologische Korrelat dieser durch subjektive Untersuchungsmethoden gewonnenen Ergebnisse erbrachte S ö r e n s e n in Versuchen an Meerschweinchen. Damit konnte er vor allem auch nachweisen, daß der Adaptationsmechanismus derSNAP im Innenohr lokalisiert ist, indem eine Beteiligung höherer Zentren durch Reizung des kollateralen Ohres unter Potentialableitung vom kontralateralen Ohr die folgenden Ergebnisse vermissen ließ: Eine Reizung mit Klicks unter gleichzeitiger Ableitung der dabei entstehenden SNAP ergab eine Abhängigkeit des folgenden vom vorausgehenden Klick hinsichtlich Intensität des ersten Klicks und Dauer des reizfreien Intervalles. Je zeitlich näher der zweite Klick dem ersten liegt, umso kleiner ist die Potentialhöhe jenes SNAP, vorausgesetzt, daß die dabei benutzten Zeiten die Größenordnung von 0 bis 20 msec nicht überschreiten. Der Spannungszuwachs der zweiten Klickantwort folgt mit wachsenden Zeitintervall einer Exponentialfunktion.



Ordinate: Größe des 2. Klick in % vom 1. Klick

Abszisse: Reizfreies Intervall

(nach H. Sørensen)

Der Verdacht, daß eine Stapeskontraktion eine Verminderung der Reizantwort bewirken könnte, kann durch die Tatsache, daß dieser Reflex innerhalb 15 msec. abläuft, während die Verminderung der SNAP über 15 msec. anhält, nicht mehr aufrechterhalten werden. Es genügt ja überhaupt die zur Narkose der Versuchstiere verwendete Urethanmenge, um jeden Reflex außer Tätigkeit zu setzen.

Einen auffälligen Unterschied ergab die Beobachtung der Readaptation nach kurzer Belastung mit weißem Rauschen einerseits und Reintönen andrerseits. Obwohl beide Erholungskurven eindeutig eine Abhängigkeit von der Dauer des Belastungsreizes zeigen, erholen sich die SNAP nach reinen Tönen schneller als nach Geräusch, was allerdings nur auf die Erholung nach kürzesten Ton- bzw. Geräuschbelastungen zutreffen dürfte, da H o o d und C h a r t e r e t t e trotz manchem Gegensätzlichen in ihren Ergebnissen die Readaptationszeit nach Langzeitadaptation sowohl nach Geräusch- wie nach Tonbelastung gleich finden. (bei 80 Db ca. 60 Sekunden).

Letztlich sei die Abhängigkeit der Readaptationszeit von der benutzten Belastungsfrequenz dargestellt. Psychophysiologische Tests, wie sie vor allem von R o d d a angestellt wurden, brachten eine besonders lange Readaptationszeit bei 4000 hz, während die benachbarten Tonhöhen sich schneller erholten, wobei die Erholungszeit mit ab 4000 Hz sinkender bzw. steigender Frequenz allmählich abnimmt. Es liegt also nahe, hinter diesem Verhalten die gleichen Ursachen zu sehen, die auch der Abhängigkeit der Adaptationsgröße von der Frequenz zugrunde liegen.

L ü s c h e r und Z w i s l o c k i stellten nämlich fest, daß bei Belastungstönen verschiedener Frequenz aber konstanter Intensität und Einwirkungsdauer die Adaptationsgröße bei 3000 Hz, also im Bereich der größten Empfindlichkeit am größten ist, während die höheren und tieferen Frequenzen mit wachsendem Abstand immer kleinere Adaptationswerte zeigen. Inwieweit für dieses Verhalten die normale Hörschwelle und der Binnenohrmuskelreflex verantwortlich sind, geht aus der Arbeit nicht hervor, ist jedoch sehr wahrscheinlich, da der Adaptationswert, bezogen auf die Hörschwelle jeder Frequenz nicht von dieser abzuhängen scheint. (L ü s c h e r und Z w i s l o c k i).

Die routinemäßige Messung der Readaptation in der Klinik hat mit wenigen Ausnahmen bisher sehr geringen Anklang gefunden. Wohl sind Hörstörungen bekannt, welche eine verzögerte Readaptation aufweisen. (z. B. akustisches Trauma) Doch lassen sich diese meist schon durch die oben besprochenen Maßnahmen, wie den Adaptationstest aufdecken, bei dem Schwellenabwanderung gemeinsam mit der Anamnese die Hauptstütze der Diagnose bilden. Eine zusätzliche Messung der Readaptation, wiewohl sie von wissenschaftlichen Gesichtspunkten aus interessant wäre, würde Ausdruck eines kostspieligen Perfektionismus sein. Aus diesem Grunde, und weil brauchbare Geräte erst seit einigen Jahren zur Verfügung stehen, weiß man heute noch ziemlich wenig über die Readaptation bzw. ihre Störungen und deren Zugehörigkeit zu den verschiedenen Innenohrkrankheiten.

Mit der vorliegenden Arbeit sollten nun mittels elektrophysiologischer Methoden die Abhängigkeit der normalen Readaptation von Zeitdauer und Intensität eines Belastungsreizes gezeigt werden und der Zeitverlauf der Readaptation der SNAP demonstriert werden und evtl. Parallelitäten zur Adaptation aufgezeigt werden.

B. Methodik

I. Operative Technik

Die Untersuchung der Readaptation wurde an den SNAP des Meerschweinchenohres vorgenommen. In der Mehrzahl der Fälle handelte es sich um 500 bis 600 Gramm schwere Tiere, welche mit intraperitoneal appliziertem Urethan (3,9 ccm/500 g Gewicht) narkotisiert wurden. Die Tiefe der Narkose war ungefähr eine Viertelstunde nach der Injektion für unsere Versuche ausreichend. Nach Kürzung der Haare im Brust-, Hals- und Ohrbereich wurde mittels medianem Hautschnitt und anschließender Auseinanderdrängung der Halsmuskulatur die Trachea freigelegt, welche in ihrem kranialen Teil gefenstert und zur Verhinderung ihres Vollaufens mit Blut und Wundsekret mit einem dünnen Gazestreifen unterpolstert wurde. Nun wurde mit einem Schnitt, der vom Nacken aus hinter dem linken Ohr vorbeiging und bis in die Submandibulargegend reichte, anschließender Luxation des Unterkiefers nach außen vorne, Abtragung des unteren Drittels des Griffelfortsatzes mitsamt des dort entspringenden musculus stylohyoideus die bulla mastoidea aufgesucht, welche dem cavum tympani und Warzenfortsatz beim Menschen entspricht. Mittels einer feinen Knochenzange wurde die dünne Wand der bulla abgetragen, nachdem sie mit einem Dentalbohrer eröffnet war. Somit war der Zugang zur Cochlea geschaffen, welche beim Meerschweinchen in die bulla hineinragt.

II. Versuchsanordnung

Das operierte Tier wurde zur Ableitung des SNAP in eine als Faradaykäfig ausgebildete schallarme Kammer gebracht, um elektrische und akustische Störungen fernzuhalten. Als Schallquelle, wie man sie zu einer gezielten Potentialableitung benötigt, diente ein magnetischer Kleinlautsprecher (Beyer DT 507), der zur Vermeidung elektrischer Einstreuung auf die Arbeitselektroden in einer Messingabschirmung untergebracht war. Ein kurzer Plastikansatz, der mittels eines Stativs an den äußeren Gehörgang des zu prüfenden Ohres gebracht wurde, vermittelte die Verbindung zwischen Lautsprecher und Ohr. Die zur Gewinnung von SNAP erforderlichen Klicks wurden durch Rechteckimpulse erzeugt. Dazu wurde als Rechteckgenerator ein Tektronix Impulsgenerator verwandt, von dem die Impulse über einen Leistungsverstär-

ker (Rohde & Schwarz) und einen in db geeichten Abschwächer auf den Kopfhörer geleitet wurden. Es befand sich dabei die gesamte Versuchsanordnung bis zum Lautsprecher außerhalb des Faradaykäfigs.

Zur Ableitung derSNAP dienten bipolare Makroelektroden, von denen die differente auf die Schneckenspitze aufgesetzt wurde, wobei von Fall zu Fall durch geringe Veränderungen der Elektrodenlage immer der Ort mit der größten Potentialamplitude zur Registrierung gesucht wurde. Die Elektroden bestanden aus 1/2 mm starkem Silberdraht mit zugeschliffener Spitze und einer 10 cm langen Kanüle als Abschirmung und Halterung, die gegeneinander mit Kunststoff isoliert waren. Die nichtabgeschirmte Spitze überragte das Kanülenende um 1/2 cm. Die Fixation und Bewegung der Elektroden erfolgte über einen Mikromanipulator (Leitz). Von den Elektroden gingen abgeschirmte Kabel auf einem in der Kammer befindlichen Differentialvorverstärker (Tektronix 122), dem ein außerhalb der Kammer befindlicher Beobachtungsoszillograph (Tektronix 502) nachgeschaltet wurde, von dem mit einer Philips Frequentophot - Kamera photographisch registriert wurde. Die in den Faradaykäfig führenden elektrischen Kabel waren abgeschirmt und die Abschirmung geerdet, so daß die Antennenwirkung der Kabel verlorenging.

III. Versuchsdurchführung

Um eine Abhängigkeit des Readaptationszeitverlaufes der SNAP von der Dauer und Intensität des Reizes zu ermitteln, wurde das Ohr des Versuchstieres verschieden langen und starken Reizen einer Folgefrequenz von konstant 1000 Klicks/sec ausgesetzt. Um Ermüdungserscheinungen des Gehöres weitestgehend auszuschalten und um längere Erholungspausen zwischen den einzelnen Ableitungen bei ein und demselben Tier zu vermeiden, wurden die Tiere in zwei Gruppen getrennt, von denen die eine nacheinander 15, 30, 45, 60 und 180 sec bei jeweils 0,20 und 40 db Abschwächung der maximalen Schallstärke belastet wurden, während die andere Gruppe bei gleichen Reizstärken 300 sec lang beschallt wurde. Nach Beendigung der Reizdauer wurde durch Umwerfen eines Schalters am Rechteckgenerator die Klickreizfolgefrequenz von rr 1000 auf rr 10 reduziert, da bei der letzteren Frequenz eine gegenseitige Beeinflussung der Klicks hinsichtlich der Höhe der Antwortsummenpotentiale nur noch in sehr geringem Maße

stattfindet. (siehe Keidelscher Adaptationsfächer). Infolge der Änderung der Reizfolgefrequenz sah man am Oszillographenschirm eine rasche Erholung der - infolge alleiniger vertikaler Ablenkung des Kathodenstrahls - strichförmig imponierenden SNAP. Um das zeitliche Hintereinander der am Schirm als rasche Spannungsstöße sichtbaren SNAP in ein örtliches Nacheinander umzuwandeln und damit erst eine genaue Auswertung zu ermöglichen, wurden die SNAP photographisch registriert und zwar so, daß gleichzeitig mit Betätigung des Kameraauslösers der Film mittels eines in die Kamera eingebauten Elektromotors mit einer konstanten Geschwindigkeit von in unserem Falle 2 cm/sec transportiert wurde. Praktisch wurde so vorgegangen, daß die SNAP am Anfang und Schluß des Belastungsreizes von rr 1000 und dann weiter bei und nach Umschaltung auf eine Klickfolgefrequenz von rr 10 registriert wurden, indem mit Beginn des Belastungsreizes der Auslöser kurze Zeit betätigt wurde, dann für den Rest der Belastungszeit wieder in Ruhe belassen wurde und kurz vor dem Umschalten auf rr 10 nochmals über 10 sec lang gedrückt wurde. Auf dem Film wurde somit eine Hüllkurve registriert.

Kleinere Fehler entstanden bei der Registrierung insofern, als beim Umschalten von rr 1000 auf rr 10 diejenige Schalterstellung am Reizgerät passiert werden mußte, bei der eine Reizfolgefrequenz von rr 100 abgegeben wird und dort der Schalter für den Bruchteil einer Sekunde einrastete. Allerdings machte sich dieser Störfaktor bei der Ermittlung des Readaptationszeitverlaufes nur in der allerersten Phase der Erholungskurve bemerkbar.

IV. Auswertung

Bei der Auswertung wurden die vom Oszillographen mittels laufendem Registrierpapierstreifen festgehaltenen Vorgänge mit einem Maßstab, welcher sowohl die elektronische Verstärkung als auch die Verkleinerung des Schirmbildes auf dem Film berücksichtigte, ausgemessen. Es wurde dabei die Amplitudengröße der SNAP bei 1/4, 1/2, 3/4, 3,5 und 10 Sekunden nach Umschalten am Impulsgenerator von rr 1000 auf rr 10 gemessen. Ferner wurde die Amplitudenhöhe der SNAP bei der Klickfolge von rr 1, welche dem Versuchsohr 10 Sekunden nach Readaptationsbeginn durch erneutes Umschalten am Reizgenerator angeboten wurde, ermittelt, indem jeweils die ersten fünf SNAP bei

rr 1 gemittelt wurden. Da sich der Readaptationszeitgang gemäß einer Sättigungskurve verhält, konnte natürlich nicht exakt eine Readaptationszeit bestimmt werden. Es erwies sich vielmehr als zweckmäßig, die SNAP-Höhe bei rr 10 bei den eben angeführten Zeiten zu messen, und in Prozent der gemittelten rr 1-Werte auszudrücken. Bei allen Messungen wurde nur die positive Potentialhöhe berücksichtigt. Die so nach den einzelnen Intensitäten und Belastungszeiten bei den jeweiligen Readaptationszeiten gefundenen relativen Potentialhöhen wurden gemittelt und in ein Diagramm, auf dessen Abszisse die Zeit nach Belastungsende aufgetragen ist, eingetragen. Die Ordinate zeigt den prozentualen Anteil der readaptierenden rr 10-Potentiale von den rr 1-Potentialen. Als Parameter galten, wie oben bereits erwähnt, Reizdauer und Reizintensität.

C. Ergebnisse

a) Alle Readaptationskurven zeigen eine Gemeinsamkeit, welche vor allem darin besteht, daß der größte Teil der Erholung innerhalb der ersten Sekunde nach Abschalten des Adaptationsreizes sich vollzieht, was im Diagramm einem steilen Kurvenverlauf entspricht. Der weitere Readaptationswert pro Zeiteinheit nimmt mit wachsendem Zeitabstand vom Ende des Belastungsreizes stetig ab.

b) Es steigen, namentlich im flacheren Teil der Erholungskurven die Kontrollpotentiale nach längerer Belastungsdauer steiler an als nach kurzer, so daß z. B. die Potentialhöhen nach dreiminütiger Dauerbeschallung 10 Sekunden nach Beginn der Erholung bereits die Höhe der Potentiale nach einminütiger Beschallung nach gleicher Erholungszeit erreicht haben.

c) Im Anfangsteil der Erholungskurven zeigen die Kontrollpotentiale nach der kurzen Belastungszeit von 15 Sekunden einen großen Abstand gegenüber jenen nach 30 Sekunden langen Belastung in bezug auf ihre Spannungshöhe, während die Potentialhöhenunterschiede zwischen den Erholungskurven nach den 30, 45 und 60 Sekunden langen Belastungszeiten mit wachsender Belastungszeit kleiner werden.

d) Bei der Prüfung der Abhängigkeit des Readaptationsverlaufes von der einwirkenden Belastungsintensität wurden ebenfalls zweigipflige Erholungskurven der SNAP registriert.

e) Die Readaptation schreitet nach den größeren Belastungsintensitäten im flachen Kurventeil noch deutlich fort, während sie zur gleichen Zeit nach den geringsten Belastungsintensitäten (40 db Abschwächung) bereits abgeschlossen ist und die Erholungskurve fast horizontal verläuft.

f) Die unter a) bis e) angeführten Ergebnisse sind sowohl für eine Klickfrequenz von 100 rr als auch 1000 rr gültig. Nur vollzieht sich die Readaptation nach 100 rr schneller als nach 1000 rr.

Die rechnerische Erfassung der mittleren Streuung der Mittelwerte wurde bei den Versuchen mit maximaler Schallstärke, bei welchen die Abhängigkeit des Readaptationsvorganges von der Belastungszeit geprüft werden sollte, durchgeführt. Es wurde die Signifikanz der Potentialhöhenunterschiede nach den einzelnen Belastungszeiten 1/4, 1/2, 3/4, 3,5 und 10 Sekunden nach Beginn der Erholungszeit geprüft. Es ergab sich dabei, daß zu Beginn der Erholungszeit fast immer die 3 - Sigmengrenze (allenfalls die 2 - Sigmengrenze) zwischen den Potentialhöhen nach 15 und 30 sekundiger Belastung gewahrt war. Ebenfalls bestand zwischen den eng zusammenliegenden Potentialhöhen nach 30, 45, und 60 sekundiger Belastung einerseits und den Potentialen nach 3 minutiger Belastung andererseits ein signifikanter Unterschied.

D. D i s k u s s i o n

Als elektrophysiologisches Korrelat der psycho-akustisch gewonnenen Versuchsergebnisse H o o d s fanden wir eine geringere Abnahme der SNAP bei niedrigeren Belastungsintensitäten im Vergleich zu höheren, dementsprechend die Readaptation sich bei den niedrigeren Belastungsintensitäten nur über einen kleinen Db-Bereich bei den H o o dschen Versuchen, oder, wie bei unseren Versuchen, über einen kleinen SNAP-Spannungsbereich erstreckt. Obwohl wir mit unserer Versuchsanordnung und -durchführung nicht die genaue absolute Readaptationszeit messen konnten, da der Readaptationszeitverlauf einer Sättigungskurve entspricht, erscheint dieser dennoch nach unseren Ergebnissen von der Belastungszeit und -intensität abzuhängen, dergestalt, daß die Readaptation nach kleineren Belastungsintensitäten und -zeiten kleiner als nach größeren ist. Dabei wird bemerkenswerterweise der kleinere Spannungsabfall bei den kleineren Schallreizen und -intensitäten nicht in einer dementsprechenden kleineren Zeit durch die Readaptation ausgeglichen, sondern die Readaptationskurve verläuft vielmehr nach den kleineren Belastungszeiten und -intensitäten flacher, was zu der Vermutung Anlaß gibt, daß die Readaptation der SNAP von chemischen Gleichgewichten abhängig ist, deren zeitabhängiges Einpendeln in eine konstante Gleichgewichtslage ja bekannterweise vom konzentrationsmäßigen Unterschied der Reaktionspartner abhängt.

Während in unseren Versuchen die Readaptation bei einer Belastungsimpulsfrequenz von rr 100 bereits nach 3,5 Sekunden Erholungszeit so gut wie abgeschlossen war, konnten wir in den Versuchen mit rr 1000 3,5 Sekunden nach Aussetzen der Belastung noch eine deutliche Belastungsintensitäts und -dauerabhängige Erholung verzeichnen. Die Parallele zu diesem Ergebnis findet man in der Abhängigkeit der Kurzzeitadaptationsdauer von der Impulsfolgefrequenz, allerdings hier in umgekehrter Weise, d. h. die Kurzzeitadaptation wird kürzer, wenn die repetition rate (rr) erhöht wird.

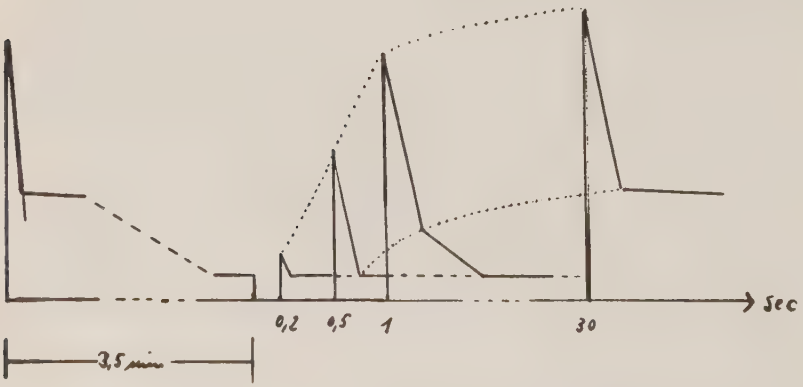
Hinsichtlich des Entstehungsortes der Nerveneinzelpotentiale im Innenohr herrscht in der Literatur keine Einigkeit. Während die anglo-amerikanischen Autoren zum Teil als Entstehungsort die Nerven-

endigungen in den Haarzellen vermuten, machen R a n k e u. a. die Auslösung der Einzelpotentiale von der Größe eines in den Haarzellen entstehenden Generatorpotentiales abhängig, welches wiederum vom Zusammenspiel eines Bildungs- und Rückbildungsstoffwechsels eines Erregungsstoffes abhängt.

Unsere Versuchsergebnisse erlauben uns, ebenfalls ein Entstehen der AP in der Sinneszelle anzunehmen und ihre Bildung von der Menge eines in der Haarzelle entstehenden Erregungsstoffes abhängig zu sehen. Bereits aus den Ergebnissen, die M a t t e w s aus Versuchen an Muskeldehnungsrezeptoren, an denen er die Erholung des on-effektes studierte, erhielt, kann man das Vorhandensein von zwei Erholungsvorgängen lesen, die zwar nicht speziell auf die Haarzellverhältnisse übertragen werden dürfen, die man aber wohl ohne weiteres als ein beiden Sinnesrezeptoren im Effekt eigenes Erholungsprinzip ansehen darf, da ja auch aus den SNAP-Adaptationsvorgängen ähnliche Bilder bekannt sind. (Kurz- und Langzeitadaptation).

Erholung der AP von Muskelrezeptoren
(nach Hood)

Abszisse: Zeit d. Erholung
Ordinate: AP-Höhe



Vor allem die Zweigipfligkeit aller von uns registrierten SNAP-Erholungskurven rechtfertigt die Vermutung zweier parallel verlaufender Erholungsvorgänge, umso mehr, als, wie unter "Ergebnisse" bereits deutlicher ausgeführt, der flachere Kurvenverlauf eine deutliche Abhängigkeit von der Intensität und Dauer des Belastungsreizes zeigt, und zwar in dem Sinne, daß die Erholungskurven im flacheren Anteil nach starker Belastung steiler verlaufen als nach schwächerer, was man als Zeichen dafür werten darf, daß nach der stärkeren Belastung der mehr dezimierte Erregungsstoffbestand sich eben schneller erholen muß als der weniger reduzierte nach schwächerer Belastung, damit die Readaptationszeiten nicht zu weit auseinanderliegen.

Die bekannten Energievorgänge in der Haarzelle lassen sich gut für eine Erklärung unserer Versuchsergebnisse heranziehen, wiewohl sie nicht zur Tatsache erhoben werden dürfen. In der Haarzelle ist der Hauptlieferant der Energie die dort gespeicherte ATP, welche bei Bedarf in ADP und Phosphat zerfällt, wobei Energie frei wird, die in einem noch nicht geklärten Vorgang die Einzelpotentiale der betreffenden Sinneszelle auslöst. Die zur Resynthese der ATP aus den beiden oxydativen Abbau von Glukose bestritten, wobei für die Haarzelle sichergestellt ist, daß in ihr der Glukoseabbau sowohl über NAD und NADP als auch über die Bernsteinsäure möglich ist. (V o s t e e n)

Vergegenwärtigt man sich diese Vorgänge in einem Modellversuch, bei dem die Menge der einzelnen Metaboliten durch die Größe von Gefäßen dargestellt wird und ihre Mobilisierbarkeit durch den Querschnitt von Röhren, die die Gefäße miteinander verbinden, so ergibt sich die Versuchsanordnung von Abb.: 1 . Wird nun durch einen Reiz, welcher die Haarzellen erregt, der Ausfluß F freigegeben, so schießt der Erregungsstoff mit einer Vehemenz, welche dem hydrostatischen Druck im Gefäß A gehorcht, heraus. Die Menge des herausfließenden Erregungsstoffes ist anfangs groß, nimmt dann rasch ab, um dann angenähert konstant zu bleiben, wenn der Nachschub aus B sich mit der der von A abgegebenen Menge ungefähr das Gleichgewicht hält. (In Anlehnung an H o o d). Dieser Vorgang entspräche der Kurzzeitadaptation, wenn man die aus F fließende Menge des Erregungsstoffes

gleich der Größe der SNAP setzt. Allerdings sinkt auch der ATP-Spiegel im Gefäß B, da der Nachschub aus C wegen des engeren Verbindungsrohres E langsamer als die Abgabe aus B erfolgt. Dadurch wird auch der Spiegel im Gefäß A weiterhin langsam sinken (Langzeitadaptation) bis schließlich doch im Modellversuch sich die Flüssigkeitsspiegel auf Höhen einstellen, die sich in ihrem Verhalten zueinander nach den zuführenden Röhrenquerschnitten richten. Dabei ist aber die glukosemenge als sehr groß gegenüber den beiden anderen Metaboliten festzulegen.

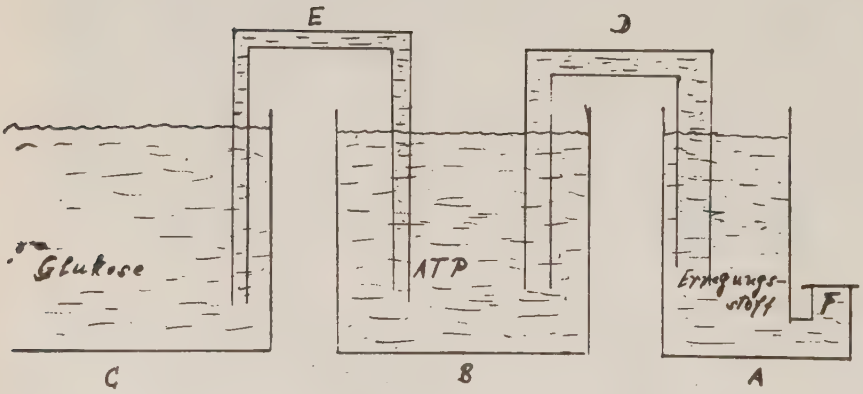


Abb.: 1

Einem stärkeren Reiz entspricht nun ein großer Querschnitt von F, einem kleineren ein kleiner, der aber immer noch größer als der Querschnitt eines jeden Verbindungsröhrchens sein muß. Beim kleineren Querschnitt von F wird nun weniger Erregungsstoff pro Zeiteinheit aus F fließen und, da der Nachschub aus B im Vergleich zur abgegebenen Menge besser ist als im vorigen Fall, der Quotient initial overshoot/steady state kleiner sein.

Wird nun das Rohr verschlossen (Beginn der Readaptation), so gleichen sich die Spiegel von A und B durch das weite Verbindungsröhrchen D schnell aus (steiler Teil der Readaptationskurve), während der nur wenig höher liegende Spiegel in C sich durch das enge Röhrchen E wegen des geringen Druckgefälles nur langsam mit A und B ausgleicht. (flacher Kurventeil der Readaptation).

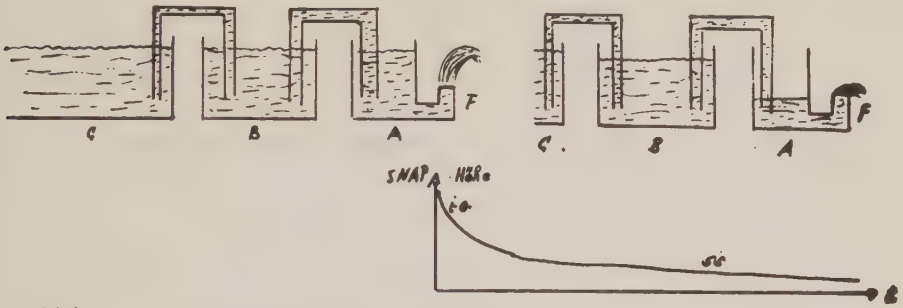


Abb.: 2

Nach stärkeren Belastungen ist der Höhenunterschied zwischen B und C größer als nach kleineren, so daß infolge des nun höheren Druckgefälles zwischen C und B der Ausgleich zwischen C und B,A mit größerer Vehemenz erfolgt als nach kleineren Belastungen. Dem entspricht der steilere Verlauf des flachen Readaptationskurventeils nach intensiveren und längeren Belastungen.

Wenn man den Energievorrat im Gefäß C im Vergleich zum Vorrat in B sehr groß annimmt, so ergibt sich bei den verschiedenen Belastungen praktisch keine Minderung dieses Vorrats, d. h. im Modellversuch kein Absinken des Flüssigkeitsspiegels im Gefäß C, was wiederum bedeutet, daß sich bei einem gewissen Höhenunterschied zwischen C

und B zwischen beiden ein Fließgleichgewicht einstellt, d. h. daß auch die beiden Flüssigkeitsspiegel in A und B bei konstanten Ausflußquerschnitt F sich auf einen konstanten Höhenunterschied einstellen. Von diesem Zeitpunkt an bleibt auch bei weiterer Belastung mit der gleichen Intensität die Menge der pro Zeiteinheit aus F fließenden Flüssigkeit konstant, eine weitere Adaptation bleibt also aus. Hier wären vor allem die psycho-akustischen Versuche H o o d s anzuführen, der bei allen von ihm untersuchten Belastungsintensitäten eine Belastungsdauer feststellte, nach der sich keine weitere Adaptation mehr vollzieht. Bei 80 db Belastung lag dieser Zeitpunkt bei ca. 3,5 Minuten.

Vergegenwärtigt man sich die von H o o d gewonnenen Adaptationskurven, so konnten wir wie bei diesen in den ersten Belastungssekunden große Adaptationswerte feststellen, die immer kleiner werden um dann nach einer gewissen Belastungszeit gegen null zu streben. Wir verzeichneten ebenfalls in den ersten Sekunden große Adaptationswerte (großer Abstand der 15 sec.-Belastungs-Readaptationskurve von den eng zusammenliegenden 30,60 sec. Kurven, die wiederum zur 3-minuten-belastungsreadaptationskurve einen gleichgroßen Abstand wie zur allersten haben).

L a n g e n b e c k erhielt bei Readaptationsmessungen mit elektronischen Feinzeitschaltern, wie sie unter "Readaptation" eingehender geschildert wurden, einen Ganzwert der Belastungsdauer, ab diesem alle weiteren Readaptationskurven zusammenfallen. Abb.:3 Da unsere Readaptationskurven mit steigender Belastungsdauer ebenfalls immer enger zusammenrücken, ist der Schluß nicht von der Hand zu weisen, daß sich hier, sowohl im Tierexperiment wie im psycho-akustischen Versuch der gleiche Grundvorgang ausdrückt. Die Absolutwerte beider Versuchsanordnungen dürfen aber nicht verglichen werden, da L a n g e n b e c k mit Geräuschen belastete und außerdem zentrale Faktoren in seinen Versuchen mit hereinspielen dürften.

nach Langenbeck

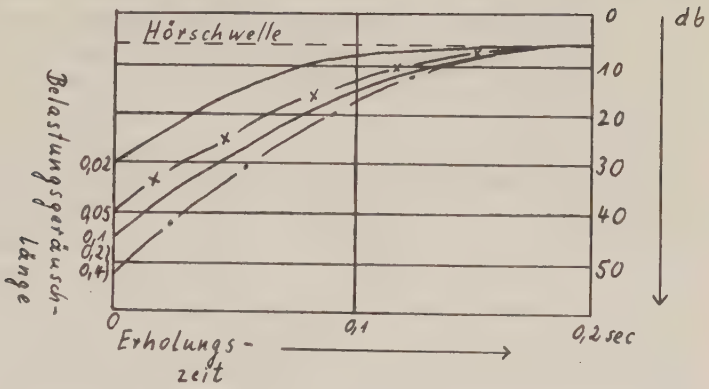


Abb.: 3

Bei gleichen Belastungszeiten und -intensitäten ist der Adaptationszeitpunkt bei den verschiedenen Klickfrequenzen von rr 1000 und rr 100 in unseren Versuchen verschieden. Bei der letzteren ist er wesentlich geringer, weshalb sich auch die Readaptation über einen kleineren Spannungsbereich erstrecken muß und demzufolge in kürzerer Zeit abläuft. Vergleicht man nun die Readaptationskurven nach rr 1000 und rr 100, so stellt man fest, daß die mehr adatierten SNAP nach rr 1000 die SNAP nach rr 100 in der Readaptationsphase ziemlich rasch einholen, jedoch dann trotzdem länger bis zur vollen Readaptation brauchen als die SNAP nach rr 100. Dieser Befund läßt sich im oben angeführten Modellversuch gut veranschaulichen und kann gleichzeitig als Einwand gegen die von H o o d behauptete Abhängigkeit der NAP von der bloßen Permeation eines energiereichen Metaboliten in die Haarzelle gebraucht werden. Nach den H o o dschen Vorstellungen müßte sich nämlich die weitere Readaptation, nachdem die SNAP des rr 1000 Versuches in der Readaptation diejenigen des rr 100 Versuches eingeholt haben, in beiden Fällen in der gleichen Zeit vollziehen.

H o o d sieht im Vorliegen eines positiven Fowlertestes mit negativem Recruitment im Dauertonverfahren ein noch regenerierbares Erkrankungsstadium der Haarzelle. Für das Zustandekommen dieser beiden Befunde macht er eine Permeabilitätsverschlechterung der Haarzellmembran für energiereiche Metaboliten aus dem die Haarzelle umgebenden Medium verantwortlich. Bei Beginn des Tonreizes ist zwar ein für die Umwandlung des physikalischen Reizes in nervöse Information verantwortlicher Energieträger in genügend hoher Konzentration vorhanden, sein Verbrauch übersteigt aber - im Gegensatz zur gesunden Haarzelle - weit den nach H o o d s Meinung infolge gestörter Permeabilität nur träge in Gang kommenden Nachschub. Da in diesem Fall auch die Readaptation verzögert in Gang kommt, läßt sich annehmen, daß die Vorgänge, welche während des Belastungsreizes verhindern, daß sich die Haarzelle erschöpft, die gleichen sind, welche die poststimulatorische Erholung der Sinneszelle bewirken. Im Gegensatz zu H o o d kommen wir jedoch auf Grund unserer Ergebnisse, insbesondere wegen der Zweigipfligkeit aller von uns registrierten Readaptationskurven zu dem Ergebnis, daß diese Ausdruck zweier verschiedener energiespendender Stoffwechselvorgänge ist. Es kann nun, ähnlich wie beim M. Ménière, bei dem zwar der oneffekt normal ausgelöst werden kann, die weitere Adaptation jedoch pathologisch verläuft, auch in der Readaptation der steile Verlauf unabhängig vom flachen pathologisch verändert sein und umgekehrt, was ja hinsichtlich des Zustandekommens der beiden Komponenten infolge zweier verschiedener Stoffwechselvorgänge ohne weiteres verständlich wäre.

Für die Klinik wäre wichtig, Untersuchungsmethoden zu besitzen, mit welchen beide Readaptationsanteile getrennt beurteilt werden könnten, um entscheiden zu können, ob die Readaptation nur teilweise pathologisch ist, was vielleicht nach dem oben Gesagten noch als regenerierbar anzusehen wäre oder ob die Readaptation in allen Phasen gestört ist.

Mit unseren Versuchen glauben wir, einen objektiven Beitrag dafür geliefert zu haben, daß die Readaptation der SNAP durch ein umgekehrtes Ablaufen der Adaptationsvorgänge zustande kommt. Ferner ließen unsere Ergebnisse auf den Adaptations- und Readaptationsvorgängen zugrunde liegende Stoffwechselvorgänge schließen.

E. Zusammenfassung

1. An mit Urethan narkostisierten Meerschweinchen (7,8 ccm Urethan/kg Körpergewicht) werden nach Präparation und Eröffnung der bulla mastoidea dieSNAP des n. acusticus mittels bipolaren Elektroden, nach Reizung des betreffenden Ohres mit Klicks, abgeleitet.

2. Unter Variation von Belastungsintensität, -zeit und Klickfrequenz lassen sich jeweils veränderte Readaptationsabläufe ableiten, die jedoch alle zweigipflig sind.

3. Die Readaptation schreitet nach den größeren Belastungsintensitäten, -zeiten und nach der höheren Klickfrequenz von rr 1000 im flacheren Readaptationskurventeil noch deutlich fort, während sie nach den entsprechenden geringeren Belastungen bzw. nach einer Klickfrequenz von rr 100 fast abgeschlossen ist.

4. Hieraus kann geschlossen werden, daß die Readaptation als Umkehrvorgang der Adaptation angesehen werden kann und auf Stoffwechselvorgängen in der Haarzelle basiert. Die beiden Teilkomponenten der Readaptation (flacher und steiler Kurvenverlauf) sollten beim klinisch-diagnostischen Vorgehen bei Innenohrhörstörungen mehr beleuchtet werden.

F. L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

1. Berendes, J.: Anleitung zur Funktionsprüfung des Ohres. Wissenschaftliche Verlagsgemeinschaft, Stuttgart (1957)

2. Carterette, E. C.: Perstimulatory adaptation of auditory fatigue for continous and interrupted noise. J. of the acoust. soc. of America 27, 103 - 111, (1955)

3. Davis, H. and Associates.: Acoustic trauma in the guinea pig. J. of the acoust. soc. of America 25, 1953, 1181 - 1189

4. Davis, H., T. Morgan and J. E. Hawkins jr. Final report on temporary deafness following exposure to loud tones and noise. Acte oto-laryng. Stockholm Suppl. 88, 1, (1958)

5. Dieroff, H. G.: Beziehungen zwischen Hörermüdung und bleibenden Hörschaden nach Lärmeinwirkung. Arch. Ohr usw. 174, 408 (1959

6. Eldredge, H. D., W. P. Covell and H. Davis.: Recovery from acoustic trauma in the guinea pig. Laryngoscope 17, 66 (1957)

7. Feldmann, H.: Untersuchungen zum Phänomen der Höradaptation. Arch. Ohren usw. Heilk. 1, 34, (1958)

8. Feldmann, H.: Erfahrungen mit der monauralen Messung der perstimulatorischen und poststimulatorischen Adaptation. Pract. oto. etc. 22, 206, ( )

9. Ganz, H.: Die Bedeutung der Biochemie für die HNO-Heilkunde. HNO Berlin, 10, 285, (1962)

10. Gisselon, L. und H. Sörensen.: Auditory adaptation and fatigue in cochlear potentiales. Acta oto-laryng. 50, 391, (1959)

11. Hood, J. D.: Fatigue and adaptation of hearing. Brit. med. Bull. 12, 125, (1956)

12. Keidel, W. D.: Neuere Ergebnisse der Elektrophysiologie des Hörens, in Schubert, K.: Theorie und Praxis der Hörgerätanpassung. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1960)

13. Keidel, W. D.: Rankes Adaptationstheorie. Biol. 112, 411, (1961)

14. Keidel, W. D.: Physiologie des Hörens. Klin. Wochenschr. 23, 1205, (1959)

15. Keidel, W. D., U. O. Keidel und M. E. Wigand: Zur zentralnervösen Informationsverarbeitung beim binauralen Hören der Katze. Pflügers Archiv 270, 347, (1960)

16. Keidel, W. D., M. E. Wigand und U. O. Keidel: Lautheitseinfluß auf die Informationsverarbeitung beim binauralen Hören des Menschen.

17. Langenbeck, B.: Leitfaden der praktischen Audiometrie. Springer Verlag, Berlin-Göttigen-Heidelberg, (1960)

18. Langenbeck, B.: Messung der Hörermüdung und Adaptation am Patienten. Z. Laryng. Rhinol. 38, 202, (1959)

19. Lehnartz, E.: Einführung in die Physiologische Chemie. Springer Verlag Berlin-Göttigen-Heidelberg, ( )

20. Lüscher, E.: Apparat zur Bestimmung der Adaptation für die klinische Untersuchung. Pract. ot. etc. 1947, 250.

21. Lüscher, E und J. Zwislocki: Adaptation des Ohres an Schallreize als Maß für die Lautstärkeempfindung und die Erregungsverteilung im Cortischen Organ. Acta oto-laryng. 37, 488, (1947)

22. Lüscher, E und J. Zwislocki: The decay of sensation and the remainder of adaptation after short pure-tone impulses on the ear. Acta oto-laryng. 35, 428, (1947)

23. Misrahy, G. A., E. W. Shinabarger and J. E. Arnold: Changes in cochlear endolymphatic oxygen availability, action potential, and microphonics during and following asphyxia, hypoxia, and exposure to loud sounds. J. of the acoust. soc. of America. 30, 701, (1958)

24. Montandon, A.: Funktionsprüfungen des Innenohres, Thieme Verlag Stuttgart (1960)

25. Ranke, O. F. und H. Lullies: Gehör, Stimme, Sprache in Trendelenburg, W. und E. Schütz: Lehrbuch der Physiologie. Springer Verlag Heidelberg (1953)

26. Rodde, M.: Recovery from temporary threshold shift. Acta oto-laryng. 55, 552, (1962)

27. Sörensen, H.: Auditory adaptation in nerve action potentiales recorded from the cochlea in guinea pigs. Acta oto laryng. Stockholm. 50, 438, (1959)

28. Theissing, G. und J. Theissing: Experimentelle Untersuchungen zum Elektrotrauma. Z. Laryng. Rhinol. Otolog. 41, 815, (1962)

29. Theissing, J.: Wirkung des Kanamycins auf die Kurzzeitadaptation des Katzengehörs. (Diss. Erlangen 1962)

30. Vosteen, K. H.: Die Energieproduktion im cortischen Organ. Acta oto-laryng. Suppl. 163. 54, (1961)

31. Vosteen, K. H.: Die Erschöpfung der Phonoreceptoren nach funktioneller Belastung. Arch. Ohr usw. Heilk. 172, 489, (1958)

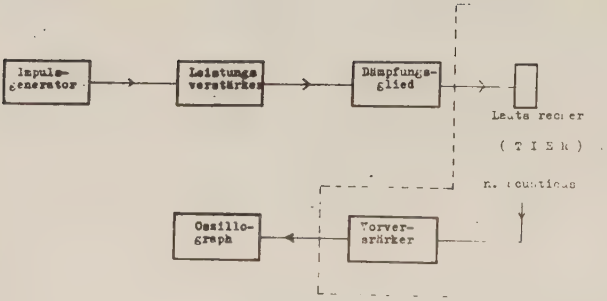


Abb.: 4

Versuchsanordnung

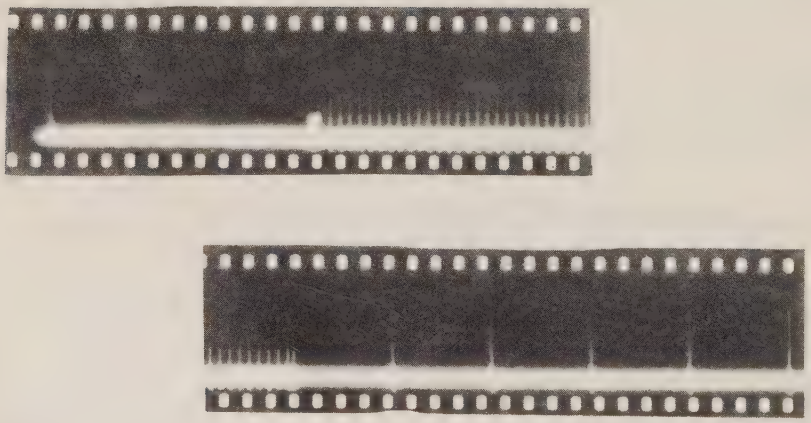


Abb: 5

Hüllkurvenschreibung der readaptierenden SNAP des n. acusticus nach einer Belastung: rr 1000, max. Lautstärke, 30 sec. Dauer. Die Aufzeigung der Readaptation wurde mit einer Reizfolgefrequenz von rr 10 bei max. Lautstärke und rr 1 bei max. Lautstärke vorgenommen.

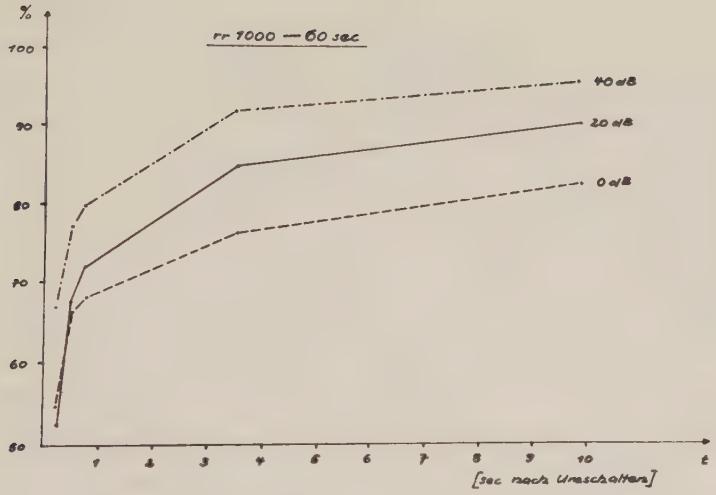


Abb.: 6 Darstellung der Readaptationsabläufe der SNAP nach 60 Sek. dauernder Reizung mit rr 1000. Abszisse: Readaptationszeit Ordinate: Höhe der SNAP bei rr 10, in Prozent der SNAP-Höhen bei rr 1 nach Ablauf der Readaptation. Parameter: Reizintensität. Die Zweigipfligkeit des Readaptationsverlaufes kommt gut zur Darstellung.

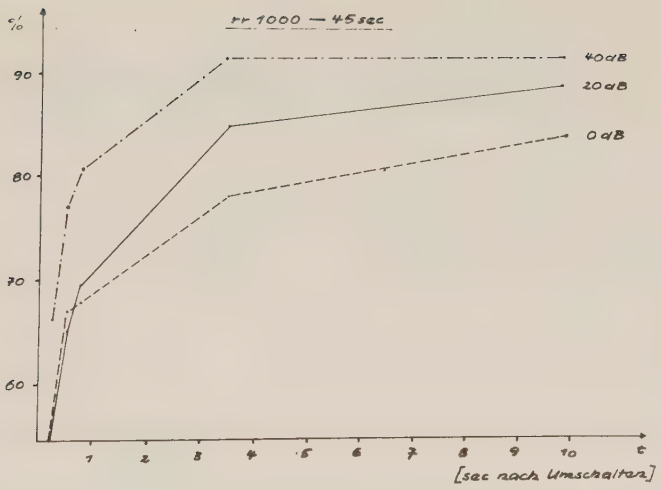


Abb.: 7 Readaptationsverläufe nach 45 Sek. dauernder Reizung mit rr 1000. Im Vergleich zur vorhergehenden Abbildung sieht man bereits 3,5 sec. nach der schwächsten Belastung - 40 db Abschwächung - vollkommene Readaptation.

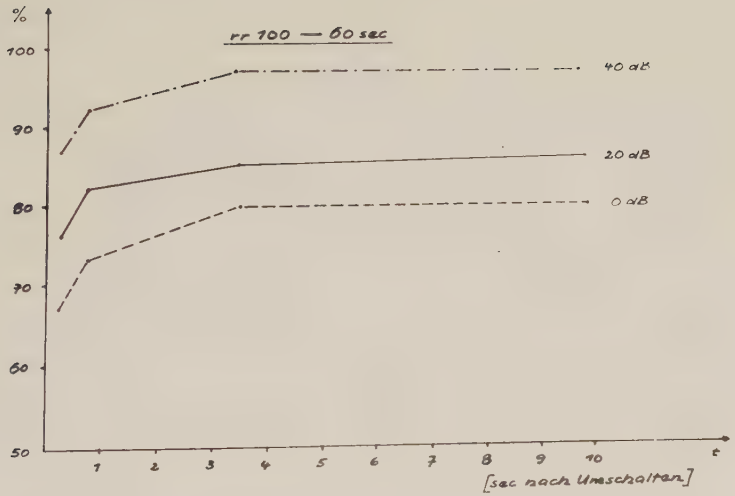


Abb.: 8 Readaptationsverläufe nach 60 Sek. dauernder Reizung mit rr 100. Im Vergleich zu den vorigen Kurven wird hier 3,5 Sekunden nach Belastungsende bei allen Intensitätsstufen das Ende der Readaptation erreicht.

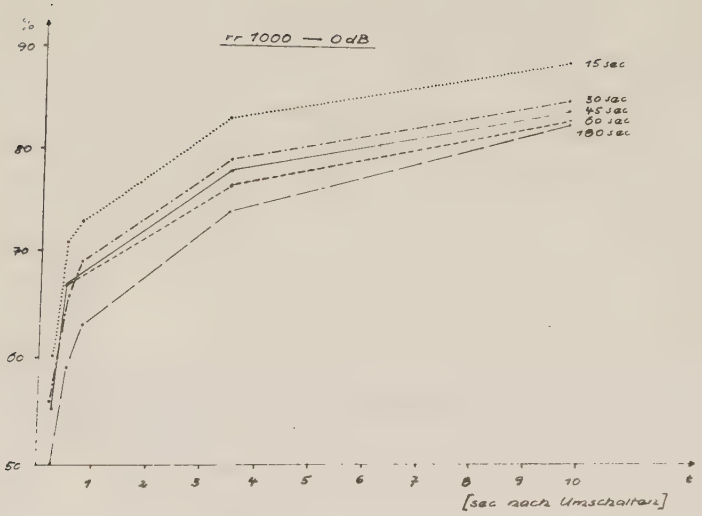


Abb.: 9 Readaptationsverläufe nach einer Belastung von rr 1000 bei einer Intensität von 0 db. Parameter ist die Belastungsdauer. Die Readaptationskurve nach 180 Sek. dauernder Belastung hat in allen Abschnitten eine größere Steiheit als die übrigen. Mit wachsender Belastungsdauer liegen die Readaptationskurven immer enger beieinander.

H. Mittelwertstabellen

rr 1000

sec	db	1/4 sec	1/2 sec	3/4 sec	3,5 sec	10 sec
	0	60 %	71 %	73 %	83 %	89 %
15	20	62 %	76 %	79 %	93 %	95 %
	40	75 %	85 %	89 %	95 %	98 %
	0	56 %	66 %	69 %	79 %	85 %
30	20	59 %	70 %	76 %	87 %	91 %
	40	71 %	82 %	85 %	94 %	96 %
	0	55 %	67 %	68 %	78 %	84 %
45	20	54 %	65 %	69 %	85 %	89 %
	40	66 %	77 %	81 %	92 %	91 %
	0	55 %	67 %	68 %	78 %	83 %
60	20	52 %	68 %	72 %	85 %	91 %
	40	67 %	77 %	80 %	92 %	96 %
	0	50 %	59 %	63 %	74 %	83 %
180	20	54 %	64 %	71 %	86 %	90 %
	40	67 %	76 %	80 %	94 %	97 %

rr 100

sec	db	1/4 sec	3/4 sec	3,5 sec	10 sec
	0	70 %	77 %	81 %	81 %
15	20	79 %	86 %	88 %	89 %
	40	90 %	94 %	96 %	97 %
	0	69 %	74 %	80 %	82 %
30	20	76 %	81 %	86 %	87 %
	40	86 %	91 %	93 %	93 %
	0	65 %	72 %	78 %	79 %
45	20	77 %	82 %	87 %	88 %
	40	83 %	89 %	93 %	94 %
	0	67 %	73 %	80 %	80 %
60	20	76 %	82 %	86 %	87 %
	40	86 %	92 %	96 %	96 %

Lebenslauf

Am 11. Mai 1941 wurde ich Gerhard, Emil Fraas, als Sohn des technischen Angestellten Arthur Fraas und seiner Ehefrau Elfriede, geb. Ernst, in Helmbrechts geboren. Hier verlebte ich meine Kindheit, besuchte vom Herbst 1947 bis zum Sommer 1951 die hiesige Volksschule und trat im September 1951 in die Städtische Oberrealschule Münchberg über, welche ich nach neunjähriger Schulzeit im Sommer 1960 nach bestandenem Abitur verließ. Im Wintersemester 1960/61 begann ich mit dem Medizinstudium an der Universität Erlangen. Dort legte ich nach 11 Semestern Fachstudium am 1. September 1966 das medizinische Staatsexamen ab.

Am 23. September 1966 verehelichte ich mich mit Fräulein Helga Hofmann. Seit 1. Oktober 1966 bin ich als Medizinalassistent auf der Chirurgischen Abteilung des Stadtkrankenhauses Hof tätig.

Helmbrechts, 14. Nov. 1966

Gerhard Fraas

BAMBERGER FOTODRUCK - Rudolf Rodenbusch